

Traduction du résumé provenant du document :

COMMITTEE TO ASSESS HEALTH RISKS FROM EXPOSURE TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.) (2006). *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII – Phase 2*, 406 p.

www.nap.edu/openbook.php?isbn=030909156X

BEIR VII : les risques sanitaires de l'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants

Le rapport BEIR VII établit les estimations les plus récentes et complètes en matière de risques de cancer et d'autres effets sur la santé suite à l'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants. Il est parmi les premiers rapports du genre à inclure des estimations détaillées de l'incidence du cancer, en plus de la mortalité par cancer. Dans l'ensemble, BEIR VII soutient les estimations précédemment rapportées sur les risques de cancers et de leucémies. Cependant, le fait que de nouvelles données plus complètes aient été rendues disponibles a permis de renforcer la confiance à l'égard de ces estimations. Un examen approfondi des données biologiques et biophysiques disponibles soutient un modèle de risque linéaire sans seuil (LSS), c.-à-d. que le risque de cancer causé par de faibles doses de rayonnements ionisants augmente de façon linéaire et ne connaît pas de seuil. La plus petite dose a le potentiel de provoquer une légère augmentation du risque pour l'homme.

Ce rapport est le septième d'une série de rapports publiés par la *National Academies Press* concernant les effets biologiques du rayonnement appelés *Biologic Effects of Ionizing Radiation* (BEIR). Le rapport BEIR VII se concentre sur les effets sur la santé de faibles doses de rayonnements ionisants à transfert d'énergie linéique faible (TEL faible), tels que les rayons X et les rayons gamma. Le dernier rapport BEIR à traiter de faibles doses de rayonnement à TEL faible était le rapport BEIR V, publié en 1990. Les humains sont exposés à des rayonnements ionisants provenant de sources naturelles et artificielles (voir la figure 1). De très fortes doses peuvent causer des effets nocifs aux tissus dans les jours suivant l'exposition. Les effets tardifs comme le cancer peuvent prendre plusieurs années à se développer et peuvent notamment se produire après l'exposition à des doses plus modérées, y compris aux faibles doses faisant l'objet du présent rapport.

La plupart des sources de rayonnement sont une combinaison de rayonnements à TEL faible et élevé. Par rapport au rayonnement à TEL élevé, le rayonnement à TEL faible dépose moins d'énergie dans la cellule le long de la trajectoire de rayonnement et est considéré comme étant moins destructeur par voie d'irradiation. Le rapport BEIR VII entend par faibles doses celles près de zéro jusqu'à environ 100 mSv (0,1 Sv) de rayonnement à TEL faible. La population des États-Unis est exposée à une dose annuelle moyenne de rayonnement ambiant naturel d'environ 3 mSv. À titre de comparaison, l'exposition liée à une radiographie pulmonaire est d'environ 0,1 mSv et l'exposition associée à une tomodensitométrie (TDM) du corps entier est d'environ 10 mSv.

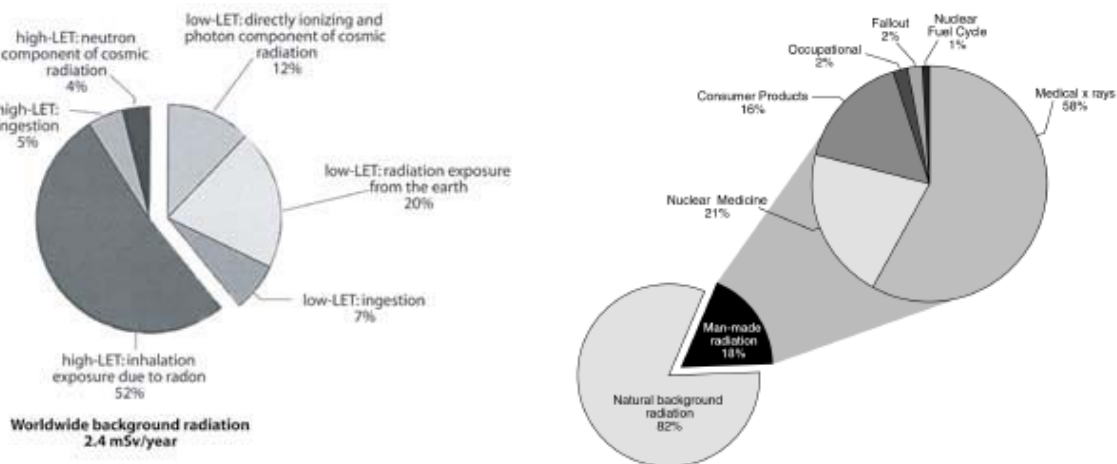


Figure 1. Le graphique de gauche ci-dessus montre les sources d'exposition naturelles dans le monde aux rayonnements à TEL faible et élevé. Le graphique de droite montre les contributions relatives des différents types de rayonnements artificiels pour la population des États-Unis¹. La radiologie médicale et la médecine nucléaire représentent environ 79 % de l'exposition au rayonnement artificiel aux États-Unis.

Les substances contenues dans les produits de consommation tels que le tabac, l'eau à usage domestique, les matériaux de construction et, dans une moindre mesure, les détecteurs de fumée, les téléviseurs et les écrans d'ordinateur, représentent un autre 16 %. L'exposition professionnelle, les retombées radioactives et le cycle du combustible nucléaire représentent environ 5 % du rayonnement de source artificielle.

¹ Les graphiques sont basés sur les données du rapport n° 93 *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States* publié par le *National Council on Radiation Protection and Measurements* en 1987.

Il existe de nombreuses difficultés associées à la compréhension des effets sur la santé des faibles doses de rayonnement à TEL faible, mais les connaissances actuelles permettent de tirer plusieurs conclusions. Le rapport BEIR VII conclut que les observations scientifiques actuelles concordent avec l'hypothèse selon laquelle, dans des conditions de faibles doses

qu'étudiées dans le présent rapport, il existe une relation dose-réponse linéaire entre l'exposition aux rayonnements ionisants et le développement de cancers solides chez l'homme. Il est peu probable qu'il existe un seuil en dessous duquel les cancers ne sont pas induits, mais il est estimé qu'à de faibles doses le nombre de cancers radio-induits est peu élevé. D'autres effets sur la santé (tels que les maladies cardiovasculaires) se produisent à des doses plus élevées de rayonnement. Cependant, des données supplémentaires doivent être réunies avant qu'une éventuelle relation doses-effets ne puisse être établie entre l'exposition à de faibles doses de rayonnement et des impacts sur la santé autres que le cancer. Le rapport conclut également que dans les cas d'exposition à de faibles doses ou d'exposition chronique à un rayonnement à TEL faible, le risque d'effets nocifs sur la santé héréditaire pour les enfants conçus par des parents ayant été exposés demeure très faible par rapport aux fréquences de référence des maladies génétiques dans la population.

Encadré 1. Nouvelles données épidémiologiques et approches utilisées dans les modèles de risque du rapport BEIR VII

1. Les résultats d'études épidémiologiques ont considérablement augmenté.
 - Pour les survivants de la bombe atomique, des données sur l'incidence du cancer provenant des registres des tumeurs d'Hiroshima et de Nagasaki ont été rendues disponibles (13 000 cas de cancers solides) et le nombre de décès par cancer solide accessible à des fins d'analyse a presque doublé (10 000 décès).
 - Il existe de nouvelles données provenant de nombreuses études portant sur des personnes exposées à des fins médicales. Ces données ont été intégrées dans l'estimation des risques de cancer du sein chez la femme et de cancer de la thyroïde.
 - Il existe aussi de nouvelles données issues d'études sur l'exposition de travailleurs du nucléaire à de faibles doses et débits de dose, y compris des résultats d'analyses combinant des données de nombreuses études. Ces données ont été évaluées et jugées compatibles avec les estimations de risques du rapport BEIR VII.
1. Le rapport BEIR VII présente des estimations à la fois sur l'incidence du cancer (y compris les cancers non mortels) et le taux de mortalité par cancer, alors que les rapports précédents se sont principalement penchés sur les données sur la mortalité.
2. La disponibilité de données sur l'incidence du cancer chez les survivants de la bombe atomique a permis d'établir des estimations pour onze sièges de cancer.
3. Le récent système dosimétrique DS02 pour les survivants de la bombe atomique fournit une base plus précise pour évaluer les risques dose-dépendants.

Les effets de l'exposition au rayonnement sur la santé

Les mécanismes qui mènent à des effets nocifs sur la santé après une exposition à des rayonnements ionisants sont encore mal compris. Le rayonnement ionisant possède assez d'énergie pour modifier la structure des molécules (y compris l'ADN) à l'intérieur des cellules de l'organisme. Certaines de ces modifications moléculaires sont si complexes qu'elles peuvent représenter un défi pour les mécanismes de réparation de l'organisme. Cependant, seule une petite fraction de ces modifications est susceptible d'entraîner un cancer ou d'autres impacts sur la santé.

Les études les plus approfondies en ce qui concerne l'évaluation des effets des rayonnements ionisants sur la santé ont porté sur les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, une vaste population comprenant tous les groupes d'âge ainsi que les deux sexes. *Le Radiation Effects Research Foundation (RERF)* au Japon a mené un suivi auprès de ces survivants pendant plus de 50 ans. Ces études ont permis une découverte importante : l'apparition de cancers solides augmente proportionnellement à la dose de rayonnement absorbée. Plus de 60 % des survivants exposés avaient reçu une dose de rayonnement inférieure à 100 mSv (une faible dose selon la définition du rapport BEIR VII).

Modèles de risque de cancer

Pour la production du rapport BEIR VII, le Comité consultatif sur les effets biologiques des rayonnements ionisants avait comme importante tâche de développer des « modèles de risque » permettant d'estimer le risque de développement d'un cancer chez une personne exposée. Cette tâche nécessitait la présentation des risques en fonction de la dose de rayonnement reçue, mais aussi du sexe et de l'âge. Des données tirées d'études épidémiologiques ont été utilisées à cette fin. Les survivants de la bombe atomique au Japon ont servi de principale source de données pour estimer les risques de la plupart des cancers solides et des leucémies. Pour deux des onze types de cancers évalués, incluant celui du sein et celui de la thyroïde, les risques ont été estimés en combinant les données de survivants de la bombe atomique avec les données de personnes exposées au rayonnement à des fins médicales. Des données provenant d'autres études médicales et d'études de travailleurs du nucléaire ont été évaluées et jugées compatibles avec les modèles du rapport BEIR VII.

Depuis la publication du rapport BEIR V en 1990, des données plus complètes sur l'incidence du cancer (y compris les maladies non mortelles) chez les survivants des bombardements atomiques ont été rendues accessibles. Des études de suivi de la mortalité prolongées de 15 ans ont présenté un nombre de décès par cancer solide presque deux fois plus élevé. Un système dosimétrique amélioré (DS02) a aussi été mis en œuvre. Enfin, les résultats d'études portant sur des personnes exposées aux rayonnements à des fins médicales et portant sur des travailleurs du nucléaire exposés à de faibles doses et débits de dose ont été rendus publics. Ces nouvelles connaissances ont renforcé les données épidémiologiques permettant d'établir des estimations de risques. L'encadré 1 présente quelques-unes des nouvelles données épidémiologiques et approches qui sont devenues disponibles depuis le rapport BEIR V.

En moyenne, en supposant une répartition selon l'âge et le sexe similaire à celle de l'ensemble de la population des États-Unis, le modèle de risque à vie du rapport BEIR VII estime qu'environ une personne sur 100 développera un cancer (cancers solides et leucémies confondues) à cause d'une dose de rayonnement de 100 mSv, alors qu'environ 42 des 100 personnes seront susceptibles de développer un cancer solide ou une leucémie causé par un autre facteur (voir la figure 2). Des doses plus faibles produiraient des risques proportionnellement plus faibles. Par exemple, à une exposition de 10 mSv, on estime qu'environ une personne sur 1 000 développerait un cancer. Le tableau 1 présente, selon le rapport BEIR VII, les meilleures estimations des risques attribuables à vie (LAR) d'incidence et de mortalité pour tous les types de

cancers solides et de leucémies pour 100 000 personnes exposées à une dose de 100 mSv. Le rapport fournit également des estimations pour des sièges de cancer particuliers.

Les estimations de risques à de très faibles doses

Il est difficile d'évaluer le risque de cancer chez les humains à des doses de 100 mSv et moins en raison des limites statistiques. Un examen approfondi des données biologiques et biophysiques disponibles a conduit le comité à conclure qu'à de faibles doses, le risque se poursuivrait de façon linéaire, sans seuil, et que la plus petite dose a le potentiel de provoquer une légère augmentation du risque chez l'homme³. Cette hypothèse est appelée le modèle « linéaire sans seuil » (LSS).

Il y a deux hypothèses concurrentes au sujet du modèle linéaire sans seuil. Selon la première hypothèse, de faibles doses de rayonnement seraient plus nocives que ce que suggère le modèle linéaire sans seuil. Le rapport BEIR VII estime que l'ensemble des recherches sur les effets du rayonnement sur la santé ne confirme pas cette hypothèse. Selon la seconde hypothèse, les risques seraient plus faibles que ce que suggère le modèle linéaire sans seuil. Ceux-ci pourraient être inexistantes, et de faibles doses de rayonnement pourraient même être bénéfiques. En raison de la prépondérance de l'information, le rapport conclut que, même à de faibles doses, il existe toujours un certain risque, bien que minime.

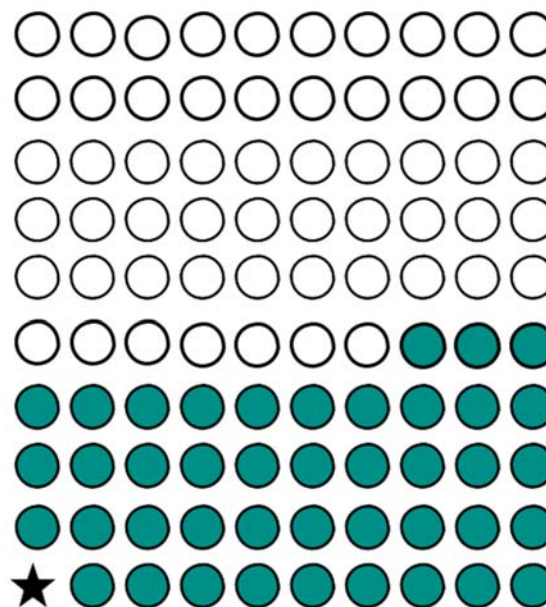


Figure 2. Au cours d'une vie, environ 42 personnes (représentées par les cercles pleins) sur 100 recevront un diagnostic de cancer² causé par un autre facteur que le rayonnement. Selon les calculs du présent rapport, environ 1 cancer (représenté par une étoile) sur 100 pourrait résulter d'une exposition unique à un rayonnement à TEL faible de 100 mSv.

	Cancers solides		Leucémies	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Excès de cas (y compris les cas non mortels) à partir d'une exposition de 100 mSv	800 (400–1 600)	1 300 (690–2 500)	100 (30–300)	70 (20–250)
Nombre de cas en l'absence d'exposition	45 500	36 900	830	590
Excès de mortalité à partir d'une exposition de 100 mSv	410 (200–830)	610 (300–1200)	70 (20–220)	50 (10–190)
Nombre de décès en l'absence d'exposition	22 100	17 500	710	530

Tableau 1. Le tableau présente le nombre de cas de cancer et de décès estimés pour 100 000 personnes (avec une répartition par âge similaire à celle de l'ensemble de la population des États-Unis) exposées à 100 mSv. Les estimations sont accompagnées d'intervalles de confiance subjectifs de 95 %, indiqués entre parenthèses, qui reflètent les sources d'incertitude majeures, y compris la variation statistique, l'incertitude dans l'ajustement du risque pour les expositions à de faibles doses et débits de dose, et l'incertitude liée aux différences pouvant exister entre la population japonaise et américaine. À titre de comparaison, le tableau indique le nombre de cas et de décès estimés en l'absence d'exposition.

² Environ 42 cancers pour 100 personnes, selon le tableau 12-4 au chapitre 12 du rapport BEIR VII.

³ Dans des cas particuliers, tels que l'exposition *in utero*, certains résultats suggèrent qu'une surincidence des cancers est observable à une dose aussi faible que 10 mSv.

Effets sur la santé autres que le cancer

Il a été démontré que l'exposition au rayonnement augmente le risque de maladies autres que le cancer (en particulier les maladies cardiovasculaires) chez les personnes exposées à des doses thérapeutiques élevées, de même que chez les survivants de la bombe atomique exposés à des doses plus faibles. Cependant, il n'existe aucune preuve directe de l'augmentation du risque de maladies non cancéreuses à de faibles doses de rayonnement, et les données sont insuffisantes pour quantifier ce risque, s'il existe. Il a également été observé que l'exposition au rayonnement augmente les risques de développement de certaines tumeurs bénignes, mais les données sont insuffisantes pour quantifier ce risque.

Estimation des risques pour les enfants de parents exposés à des rayonnements ionisants

Des modifications (mutations) dans le matériel génétique (ADN) contenu dans les cellules germinales (spermatozoïdes et ovules) entraînent des maladies génétiques héréditaires (c.-à-d. pouvant être transmises à la progéniture et aux générations suivantes). Afin de savoir si l'exposition aux rayonnements ionisants provoque une augmentation de la fréquence des maladies génétiques, de vastes programmes de recherche ont été mis en œuvre pour

examiner les effets génétiques néfastes du rayonnement chez les enfants de survivants de la bombe atomique. D'autres études ont également été menées sur des mammifères élevés en laboratoire, principalement la souris. Des études réalisées auprès de 30 000 enfants de parents exposés à la bombe atomique font ressortir une absence d'effets héréditaires importants. Au cours de la dernière décennie, des avancées majeures ont permis de mieux comprendre la nature moléculaire et les mécanismes des maladies génétiques naturelles et des mutations radio-induites dans des organismes expérimentaux, en particulier la souris.

Les estimations de risques présentées dans ce rapport ont tenu compte de toutes ces avancées. Celles-ci démontrent qu'à de faibles doses ou à des doses chroniques de rayonnement à TEL faible, les risques génétiques demeurent très faibles par rapport aux fréquences de référence des maladies génétiques dans la population.

D'après les estimations du rapport BEIR VII, il n'y aurait aucune augmentation d'effets héréditaires indésirables dans un échantillon d'environ 30 000 enfants (le nombre d'enfants évalués à Hiroshima et Nagasaki). Les risques génétiques sont faibles principalement parce que seules les modifications génétiques compatibles avec le développement et la viabilité embryonnaires seront récupérées à la naissance.

Les besoins en matière de recherche

La poursuite des recherches est nécessaire pour renforcer notre compréhension des risques sanitaires associés aux faibles doses de rayonnements ionisants. Selon le rapport BEIR VII, les besoins de recherche suivants sont prioritaires :

- Déterminer le niveau de divers marqueurs moléculaires de lésions de l'ADN en fonction de la faible dose de rayonnements ionisants;
- Déterminer la fidélité de réparation de l'ADN, en particulier les ruptures de brins doubles et multiples à de faibles doses, et déterminer si la capacité de réparation est indépendante de la dose;
- Évaluer l'importance de l'adaptation, l'hypersensibilité à de faibles doses, l'effet de proximité, l'hormèse et l'instabilité génomique pour la cancérogenèse radioinduite;
- Étudier les mécanismes moléculaires dans le cadre des effets hormétiques présumés à de faibles doses;
- Réduire les incertitudes actuelles concernant le rôle joué par le rayonnement dans la formation des tumeurs;
- Étudier les facteurs génétiques qui influencent les effets du rayonnement et le risque de cancer;
- Étudier les effets génétiques héréditaires du rayonnement;
- Poursuivre les études portant sur l'exposition au rayonnement à des fins médicales et sur l'exposition professionnelle;
- Poursuivre les études de suivi sur les survivants de la bombe atomique au Japon (45 % d'entre eux étaient encore en vie en 2000);
- Mener des études épidémiologiques complémentaires aux études réalisées auprès des survivants des bombardements atomiques, par exemple des études sur les travailleurs de l'industrie nucléaire et les personnes exposées dans les pays de l'ancienne Union Soviétique.

Comité d'évaluation des risques sanitaires de l'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants :

Richard R. Monson (président), *Harvard School of Public Health*; James E. Cleaver (vice-président), *University of California*, San Francisco; Herbert L. Abrams, *Stanford University*; Eula Bingham, *University of Cincinnati*; Patricia A. Buffler, *University of California*, Berkeley; Elisabeth Cardis, Centre international de recherche sur le cancer, Lyon, France; Roger Cox, *National Radiological Protection Board*, UK; Scott Davis, *University of Washington and Fred Hutchinson Cancer Research Center*, Seattle, WA; William C. Dewey, *University of California*, San Francisco; Ethel S. Gilbert, *National Cancer Institute*; Albrecht M. Kellerer, *Ludwig-Maximilians-Universität*, München, Allemagne; Daniel Krewski, Université d'Ottawa, Ontario, Canada; Tomas R. Lindahl, *Cancer Research UK London Research Institute*; Katherine E. Rowan, *George Mason University*; K. Sankaranarayanan, *Leiden University Medical Centre*, Leiden, Pays-Bas; Daniel W. Schafer, *Oregon State University* (depuis mai 2002); Leonard A. Stefanski, *North Carolina State University*, (jusqu'en mai 2002); Robert L. Ullrich, *Colorado State University*, Rick Jostes (directeur de l'étude), *National Research Council*.

Ce résumé a été préparé par le National Research Council d'après le rapport du comité.

Pour de plus amples renseignements, communiquez avec le *Nuclear and Radiation Studies Board* en composant le 202 334-3066. Le rapport *BEIR VII : Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation* est disponible à la *National Academies Press*, 500 Fifth Street, NW, Washington, DC 20001; 800-624-6242; www.nap.edu. Ce rapport est parrainé par le *Department of Defense* des États-Unis, le *Department of Energy* des États-Unis, la *Nuclear Regulatory Commission* des États-Unis, l'*Environmental Protection Agency* des États-Unis et le *Department of Homeland Security* des États-Unis.

